

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Schriftliche Kernfachprüfung 06. September 2010

Passive Bauelemente

Der Beginn der Prüfung wird von der Prüfungsaufsicht bekannt gegeben. Wenn Sie vor dem offiziellen Beginn diese Seite umschlagen und die Aufgaben einsehen, wird dies als Täuschungsversuch gewertet. Füllen Sie folgenden Kasten vollständig aus.

Nachname Musterlösung	Vorname extern	Matrikelnummer
	Zutreffendes bitte ankreuzen <input type="checkbox"/> Erstprüfung <input type="checkbox"/> Wiederholungsprüfung	EDV-Nummer
Wiederholer/innen bitte ausfüllen		
Straße/Nummer	Postleitzahl/Ort	
Telefon	E-Mail	

Zur Prüfung zugelassene / mitzubringende Hilfsmittel

- Es sind keine Hilfsmittel außer den angegebenen erlaubt.
- Formelsammlung für PB SS 2010 (ohne handschriftliche Notizen)
- Zwei handschriftlich (einseitig) beschriebene DIN-A4-Seiten
- Taschenrechner und Schreibzeug (Lineal, Stifte etc., keine Bleistifte verwenden)

Hinweise zum Ablauf der Prüfung

- Halten Sie Ihren Studierendenausweis und Ihre Immatrikulationsbescheinigung bereit.
- Nach Prüfungsbeginn kontrollieren Sie bitte zuerst, ob das vorliegende Prüfungsheft vollständig ist.
- Die Prüfungsdauer beträgt 3 Zeitstunden.
- Jegliche Kommunikation ist während der Prüfung untersagt.
- Während der Prüfung werden Fragen zu Aufgaben oder Stoffgebiet nicht beantwortet.
- Beachten Sie Tafelanschriften und Folien, die zu Beginn oder während der Prüfung gezeigt werden.

Hinweise zum Bearbeiten der Aufgaben

- Die Prüfung besteht aus 30 Antwort-Wahl-Fragen (Teil 1) und 3 Rechenaufgaben (Teil 2). In den beiden Teilen sind jeweils 30 Punkte erreichbar.
- Falls Ihnen die deutsche Sprache Schwierigkeiten bereitet, können Sie Begründungstexte alternativ in englischer Sprache formulieren.
- Wenn Sie den Unterpunkt einer Rechenaufgabe nicht gelöst haben, rechnen Sie mit den angegebenen Größen / Zahlenwerten weiter.
- Lösungen auf eigenen Blättern, unzureichend gekennzeichnete Lösungen und Lösungen auf Blättern ohne Angabe von Name, Matrikelnummer oder Aufgabennummer werden nicht gewertet.
- Für die Lösung ist der dafür vorgesehene Bereich unterhalb der jeweiligen Aufgabenstellung zu verwenden. Falls der vorhandene Platz nicht ausreichen sollte, verwenden Sie das hinten beigefügte Zusatzblatt. Bei Bedarf werden von der Prüfungsaufsicht weitere Blätter ausgegeben. Für jede Aufgabe muss eine separate Zusatzseite verwendet werden. Sind auf einer Seite Teile mehrerer Aufgaben gelöst worden, wird entsprechend der Aufgabennummer in der Kopfzeile gewertet.
- Die Ergebnisse und Begründungen sind in die dafür vorgesehenen Bereiche, Felder oder Diagramme zu schreiben bzw. anzukreuzen. Beschriften Sie keinesfalls die grau hinterlegten Korrekturfelder.

Viel Erfolg!

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Teil 1: Antwort-Wahl-Fragen (30 Punkte)

Bei den folgenden Antwort-Wahl-Fragen können jeweils eine oder mehrere Antworten richtig sein. Es wird je Frage 1 Punkt vergeben, wenn genau alle richtigen Antworten und keine falschen Antworten angekreuzt sind. Teilpunkte werden nicht vergeben.

1. Die Anzahl von Punktdefekten in Kristallgittern
 - ist nicht von der Temperatur abhängig.
 - nimmt im Allgemeinen mit steigender Temperatur ab.
 - nimmt im Allgemeinen mit steigender Temperatur zu.**
 - ist bei gleicher Temperatur in unterschiedlichen Kristallgittern gleich.

2. Zwischen zwei Atomen, die eine chemische Bindung eingehen, stellt sich ein Gleichgewichtsabstand r_0 ein, wenn:
 - $F_{\text{eff}} = F_{\text{Anziehung}} + F_{\text{Abstoßung}} = 0$.
 - $F_{\text{eff}} = F_{\text{Anziehung}} + F_{\text{Abstoßung}} = \text{minimal}$.
 - die potentielle Energie $W = 0$ ist.
 - die potentielle Energie W minimal ist.**

3. Die Wärmeleitung in Festkörpern erfolgt
 - in Ionenkristallen überwiegend durch Phononen.**
 - in Metallen überwiegend durch Phononen.
 - in kovalent gebundenen Festkörpern überwiegend durch Elektronen.
 - in Metallen überwiegend durch Elektronen.**

4. Nach dem Pauli-Prinzip dürfen zwei Elektronen in einem Atom
 - nicht auf derselben Schale sitzen.
 - nicht in drei der vier Quantenzahlen übereinstimmen.
 - nicht im identischen Elektronenzustand (beschrieben durch die vier Quantenzahlen) sein.**
 - auf der untersten Schale nur mit unterschiedlichem Spin sitzen.**

5. Kovalente Bindungen
 - zwischen zwei Atomen desselben Elements weisen keinen ionischen Bindungsanteil auf.**
 - treten nur zwischen im Periodensystem weit voneinander entfernten Elementen auf.
 - haben in der Regel eine geringe elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffs zur Folge.**
 - treten nur in Ionenkristallen auf.

6. Bei der Diffusion von Fremdatomen aus der Gasphase in einen Festkörper
 - sorgt das Konzentrationsgefälle zwischen Oberfläche und Probeninnerem für einen Teilchenstrom, der durch das 1. Ficksche Gesetz beschrieben wird.**
 - ist die Eindringtiefe temperaturunabhängig.
 - ist die Eindringtiefe eine Funktion der Zeit.**
 - wird nach unendlicher Zeitdauer eine Gleichverteilung in der gesamten Probe erreicht.**

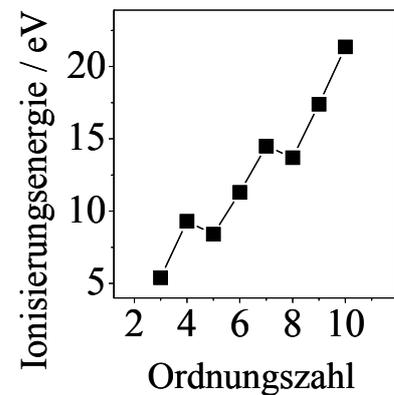
7. Amorphe Festkörper
 - haben keine Vorzugsrichtung (isotropes Verhalten).**
 - haben eine Vorzugsrichtung (anisotropes Verhalten).
 - haben keinen streng periodischen Aufbau (Nahordnung).**
 - können einkristalline Struktur aufweisen.

8. Bei einer chemischen Reaktion
- ist ein Gleichgewicht erreicht, wenn sich die chemischen Potentiale der Reaktionspartner nicht mehr ändern.
 - gibt das Massenwirkungsgesetz an, in welchem Verhältnis die Gleichgewichts-Konzentrationen der beteiligten Reaktionspartner zueinander stehen.
 - gibt das Massenwirkungsgesetz an, wie groß die Massen der beteiligten Stoffe im Gleichgewicht sind.
 - ist das Minimum der inneren Energie entscheidend für das chemische Gleichgewicht.

9. Nach dem Wiedemann-Franz-Gesetz ist die Wärmeleitfähigkeit bei konstanter Temperatur
- unabhängig vom spezifischen Widerstand.
 - proportional zum spezifischen Widerstand.
 - proportional zur spezifischen Leitfähigkeit.**

10. Der nebenstehend skizzierte Verlauf der Ionisierungsenergie über der Ordnungszahl in der 2. Periode (Li bis Ne) des Periodensystems der Elemente ist:

- falsch, da innerhalb der Periode die Ionisierungsenergie streng monoton steigen muss.
- richtig, da grundsätzlich nach drei Ordnungszahlen wieder ein stabileres Element auftritt.
- richtig, da halb- bzw. voll besetzte s- und p-Orbitale stabile Zustände sind und daher mit einer relativen Abnahme der Ionisierungsenergie innerhalb der Periode einhergehen.**
- falsch, weil die Ionisierungsenergie innerhalb einer Periode immer abnehmen muss.



11. Welche Aussagen zu Bariumtitanat (BTO) sind richtig?

- BTO besitzt an seinen Phasenübergängen besonders große Dielektrizitätskonstanten.**
- BTO ist über 120 °C ferroelektrisch.
- BTO ist im ferroelektrischen Zustand auch piezoelektrisch.**

12. Welche Aussagen zu den Polarisationsmechanismen sind richtig?

- Die Rückstellkräfte der ionischen Polarisation basieren auf elektrostatischen Bindungskräften.**
- Die Rückstellkräfte der Orientierungspolarisation basieren auf der Temperatur des Stoffes.**
- HDK-Keramik-Kondensatoren nutzen ausschließlich die Elektronenpolarisation.

13. Die lokale Feldstärke nach Lorentz ist

- die elektrische Feldstärke, die auf atomarer Ebene polarisiert.**
- die Ursache von magnetischen Domänen.
- in polarisierbaren Materialien größer als das am Werkstoff angelegte makroskopische Feld.**

14. Ursachen von Verlusten in technischen Kondensatoren können sein:

- die Relaxation der Orientierungspolarisation.**
- eine elektronische Leitfähigkeit im Dielektrikum.**
- die Resonanz der Ionenpolarisation.**

15. Ein Niob- bzw. Tantal- Elektrolytkondensator

- darf nur unipolar betrieben werden.**
- nutzt überwiegend das große ϵ_r dieser Metalloxides ($\epsilon_r > 200$) zur Realisierung großer Kapazitäten.
- nutzt die sehr dünnen Oxidschichten und die große Oberfläche zur Realisierung großer Kapazitäten.**

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

16. Der Varistoreffekt
- ist ein Effekt aufgrund von Akzeptorzuständen an den Korngrenzen.
 - wird durch Nennansprechstrom und -spannung sowie den Nichtlinearitätskoeffizient charakterisiert.
 - besitzt Ansprechzeiten von wenigen Nanosekunden.
17. Kaltleiter (PTCs) werden eingesetzt
- zur Spannungsstabilisierung.
 - als Heizelement.
 - zur Einschaltstrombegrenzung.
18. Piezoelektrische Werkstoffe
- Die piezoelektrische Polarisierung tritt nur bei Kristallen auf, die ein Symmetriezentrum besitzen.
 - Der Piezoeffekt wird nicht in Metallen beobachtet.
 - werden bei Temperaturen $T > T_C$ als elektromechanische Wandler eingesetzt.
19. Die BCS-Theorie (Supraleitung)
- wurde von Niels Bohr, Alice Cooper und Erwin Schrödinger aufgestellt.
 - beschreibt die Bildung eines gemeinsamen Energiezustandes von Elektronen (Cooper-Paar).
 - berücksichtigt die Wechselwirkung der bewegten Elektronen mit dem Ionengitter.
20. Supraleitung:
- Unterhalb der Sprungtemperatur T_C verhält sich ein Supraleiter wie ein idealer Diamagnet.
 - Oberhalb der Sprungtemperatur T_C fließen in einer dünnen Oberflächenschicht Ringströme, die das Magnetfeld im Inneren des Supraleiters verdrängen.
 - Die kritische Stromdichte nimmt mit sinkender Temperatur zu.
21. Mit steigender Feldstärke E steigt in einem Leiterwerkstoff die Stromdichte j , weil
- die Stoßzeit der Elektronen sinkt.
 - die Ladungsträgerbeweglichkeit abnimmt.
 - die Ladungsträgerkonzentration durch Stoßprozesse zunimmt.
 - die Driftgeschwindigkeit der Elektronen steigt.
 - die effektive Masse der Elektronen abnimmt.
22. Der Zusammenhang zwischen Ladungsträgerkonzentration n und Temperatur T : $n \sim \exp\left(\frac{-W_G}{2kT}\right)$ gilt
- bei allen technischen Halbleitern.
 - bei divalenten Metallen.
 - bei vielen Isolatoren.
23. Ein reines Metall zeigt gegenüber einem solchen mit geringen Verunreinigungen einen niedrigeren spezifischen Widerstand, weil
- die mittlere Geschwindigkeit der Ladungsträger kleiner ist.
 - die Fermienergie kleiner ist.
 - die Ladungsträgerdichte größer ist.
 - die Ladungsträgerbeweglichkeit größer ist.
24. Die elektrische Leitfähigkeit σ
- von Metallen steigt mit zunehmender Temperatur.
 - von Supraleitern sinkt kontinuierlich mit abnehmender Temperatur.
 - von Isolatoren steigt bei sehr hohen Temperaturen.
 - von Metalloxiden sinkt mit zunehmender Temperatur.
 - von Halbleitern steigt im intrinsischen Bereich mit zunehmender Temperatur.

25. Intrinsische Halbleiter
- Intrinsische Halbleiter werden in n - und p -Halbleiter unterteilt.
 - Die intrinsische Leitfähigkeit entsteht durch thermisch aktivierte Elektron-Loch-Paare.**
 - Intrinsische Halbleiter zeigen eine lineare Abnahme der Leitfähigkeit mit der inversen Temperatur.
 - Die Lage der Fermi-Energie W_F in intrinsischen Halbleitern wird von der Temperatur und den effektiven Massen der Ladungsträger beeinflusst.**
 - Die intrinsische Leitfähigkeit von Silizium ist aufgrund des Bandabstandes immer größer als die von Germanium.
26. Welche der folgenden Verbindungen wären prinzipiell aufgrund thermisch aktivierter Hopping-Leitung als Heißleiter geeignet?
- SiO_2
 - Fe_3O_4
 - NiMn_2O_4
 - ZrO_2
27. Welche der Aussagen über ferromagnetische und ferroelektrische Werkstoffe sind richtig?
- Ferroelektrische und ferromagnetische Werkstoffe zeigen unterhalb der Curie-Temperatur eine ausgeprägte Hysterese.**
 - Ferroelektrische und ferromagnetische Bauelemente bestehen aus oxidkeramischen Werkstoffen. Sie werden durch einen Sinterprozess hergestellt.
 - Beim Überschreiten der Curie-Temperatur verschwinden in einem ferroelektrischen Material die permanenten Dipole, während in einem ferromagnetischen Material nur die Ordnung der Dipole gestört wird.**
28. Eisen (Fe)
- ist ein ferromagnetischer Werkstoff.**
 - gehört zu den drei Metallen mit der höchsten elektrischen Leitfähigkeit.
 - ist korrosionsbeständig und gehört zur Gruppe der Edelmetalle.
 - hat gegen Zinn (Sn) eine Kontaktspannung $U_{12} = +0,3 \text{ V}$.
 - wird als Leiterwerkstoff universell eingesetzt.
29. Magnetische Polarisationsmechanismen
- Paramagnetismus ist nur bei Nichtleitern zu finden.
 - Zink (Zn) ist ferromagnetisch.
 - Die magnetische Polarisation J bei Magneten hat ein Analogon in der elektrischen Feldtheorie, und zwar in der elektrischen Polarisation P .**
30. Magnetismus
- Magnetische Polarisation kann mit $\vec{P} = \chi \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}$ berechnet werden.
 - Eine Neukurve tritt auf, wenn ein magnetisierter Werkstoff einem von $H = 0$ ansteigenden Magnetfeld ausgesetzt wird.**
 - Der Verlustfaktor einer Spule $\tan \delta$ kann durch Quotientenbildung von Imaginärteil und Realteil der komplexen Permeabilität gebildet werden.**
 - Weichmagnetische Werkstoffe sind in NF-Übertragern einsetzbar.**

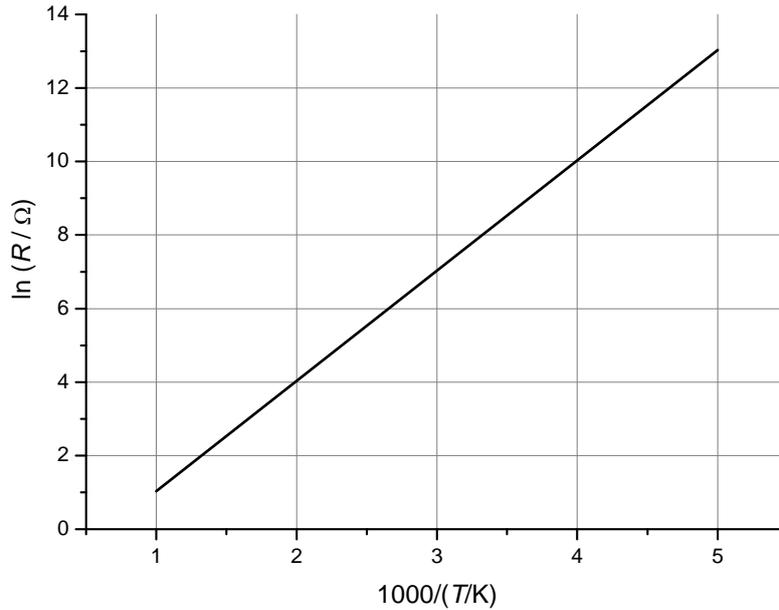
Punkte AWF

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Teil 2: Rechenaufgaben (30 Punkte)

Rechenaufgabe A1: NTC

a) Das folgende Diagramm zeigt den elektrischen Widerstand R eines Thermistors (ohne Eigenerwärmung) als Funktion der reziproken Temperatur. Bestimmen Sie die Koeffizienten A und B zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit gemäß der Beziehung $R(T) = A \exp(B/T)$. Beachten sie die Achseneinteilung! (2 Punkte)



Lösung:

Ablesen der Werte aus dem Diagramm:

$$\begin{array}{llll} \ln R_1 = 10 & 1000/T_1 = 4/\text{K} & T_1 = 250\text{K} & R_1 = 22,03 \text{ k}\Omega \\ \ln R_2 = 4 & 1000/T_2 = 2/\text{K} & T_2 = 500\text{K} & R_2 = 54,60 \Omega \end{array}$$

$$R(T) = A e^{\frac{B}{T}} \quad B = \frac{\ln(R_1) - \ln(R_2)}{\left(\frac{1000}{T_1} - \frac{1000}{T_2}\right)} \cdot 1000 = \frac{10 - 4}{4 - 2} \cdot 1000 \text{ K} = 3000 \text{ K}$$

$$A = \frac{R_1}{e^{\frac{B}{T_1}}} = \frac{22,03 \text{ k}\Omega}{e^{\frac{3000 \text{ K}}{250 \text{ K}}}} = 0,14 \Omega$$

$A = 0,14 \Omega$ $B = 3000 \text{ K}$	<i>(je 1 Punkt auf richtige Lösung)</i>	Punkte A1.a
---	---	-------------

b) Ein Thermistor (NTC) mit den unten gegebenen Kenndaten soll als Temperatursensor an Luft eingesetzt werden. Wie groß darf der maximale Strom I durch den NTC sein, damit sich dieser aufgrund der Eigenerwärmung nicht mehr als 0,5 K gegenüber der gegebenen Umgebungstemperatur $\vartheta_L = 25\text{ °C}$ erwärmt? Nun soll der NTC mit einem Vorwiderstand R_V an eine Spannungsquelle von $U_0 = 12\text{ V}$ angeschlossen werden. Wie groß muss der Vorwiderstand gewählt werden, damit auch in diesem Fall die NTC-Temperatur aufgrund der Eigenerwärmung nur maximal 0,5 K über der Umgebungstemperatur liegt? (4 Punkte)

Zahlenwerte:

Temperaturabhängigkeit des NTC	$R(T) = A \cdot \exp(B/T)$
Thermistor-Konstanten	$A = 0,05\ \Omega$
	$B = 3500\text{ K}$
Durch Konvektion abgeführte Leistung	$P_K = \alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)$
Umgebungs- bzw. Lufttemperatur in °C	$\vartheta_L = 25\text{ °C}$
Gesamte Oberfläche des NTC	$A_O = 0,5\text{ cm}^2$
Wärmeübergangszahl an Luft	$\alpha_L = 4\text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Lösung:

Abgeführte Leistung an ruhender Luft: $P_K = I^2 R = \frac{U^2}{R} = \alpha_L A_O (T - T_U)$

Mit dem Widerstand des Thermistors: $R_{(T_{th})} = A \cdot e^{\frac{B}{T_{th}}}$

Folgt die Spannung bzw. Strom am Thermistor:

$$I_{(T)} = \pm \sqrt{\frac{[\alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)]}{R_{(T)}}} \quad (1 \text{ Punkt auf Ansatz})$$

Bei max. Erhöhung von 0,5 K darf der NTC maximal 25,5 °C (298,65 K) warm werden
 $\rightarrow I(298,65\text{ K}) = 0,4\text{ mA}$

Die Gesamtspannung ist die Summe der Teilspannungen von NTC und Vorwiderstand, auflösen nach R_V :

$$U_0 = U_{(I)} + I \cdot R_V \quad R_V = \frac{U_0 - U_{(I)}}{I} = \frac{U_0 I - P_V}{I^2} = \frac{U_0 I - \alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)}{I^2} = 23,6\text{ k}\Omega$$

(1 Punkt auf Ansatz)

Dabei muss erkennbar sein: 1. Reihenschaltung aus R_V und R_{NTC}
 2. R_V auflösen mit Leistungen rechnen

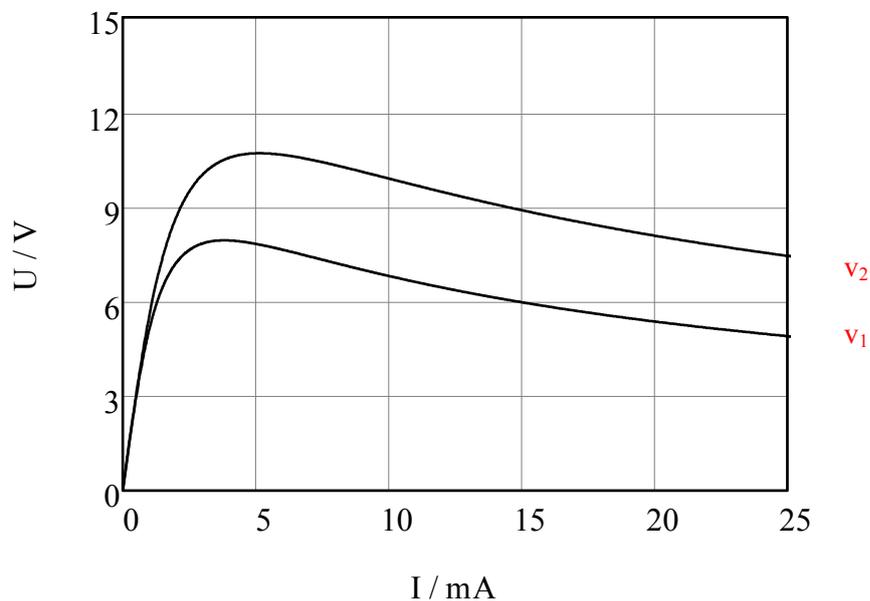
Auch möglich: $R(298,65\text{K})$ berechnen, dann $R_{ges} = U_0 / I$ und
 $R_V = R_{ges} - R(298,65\text{K})$

$I = 0,4\text{ mA}$	(je 1 Punkt auf richtige Lösung)	Punkte A1.b
$R_V = 23,6\text{ k}\Omega$		

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

c) Der Thermistor aus Aufgabenteil b) soll nun zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit v eines Gases mit Hilfe der Funktion $\alpha(v) = \alpha_G + k_v \cdot \sqrt{v}$ eingesetzt werden. Hierzu wurden die unten gegebenen Kennlinien für ruhendes ($v_1=0$) und für strömendes Gas ($v_2=1$ m/s) gemessen. Berechnen Sie zunächst die maximale Temperatur, die am Thermistor auftreten kann, wenn der maximale Strom 15 mA nicht überschreiten darf. Bestimmen Sie weiterhin die Wärmeübergangszahl α_G und die „Geräte-Konstante“ k_v . (4 Punkte)

Strömungsgeschwindigkeiten des Gases $v_1 = 0$ m/s
 $v_2 = 1$ m/s
 Umgebungs- bzw. Gastemperatur $\vartheta_U = 25$ °C



Lösung:

Auswahl von geeigneten Wertepaaren im Kennlinienfeld der Eigenerwärmung. Die untere Kurve wurde bei v_0 gemessen, da hier die kleinste thermische Leistung abgeführt wird. Hier tritt die größte Erwärmung des NTC auf.

$$U_1 = 6 \text{ V}; \quad I_1 = 15 \text{ mA}$$

$$P_K = U \cdot I = (\alpha_G + k_v \sqrt{v}) \cdot A_0 \cdot (T - T_U)$$

(1 Punkt für richtige Auswahl der Kennwerte und Ansatz)

-> was ist v_1 , v_2 in der Kennlinie

$$P_{K1} = U_1 \cdot I_1 = I_1^2 \cdot R_1 = I_1^2 \cdot A \cdot e^{\frac{B}{T_1}} \rightarrow T_1 = \frac{B}{\ln\left(\frac{U_1 \cdot 1}{I_1 \cdot A}\right)} = 389,4 \text{ K} (116,3^\circ\text{C})$$

Ruhendes Gas: $v_1 = 0$ cm/s

$$U_1 \cdot I_1 = \alpha_G \cdot A_0 \cdot (T_1 - T_U) \rightarrow \alpha_G = \frac{U_1 \cdot I_1}{A_0 \cdot (T_1 - T_U)} = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K})$$

Strömendes Gas: $v_2 = 100 \text{ cm/s}$

$$U_2 = 9 \text{ V}; \quad I_2 = 15 \text{ mA}$$

$$P_{K2} = U_2 \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R_2 = I_2^2 \cdot A \cdot e^{\frac{B}{T_2}} \rightarrow T_2 = \frac{B}{\ln\left(\frac{U_2 \cdot I_2}{I_2^2 \cdot A}\right)} = 372,6 \text{ K } (99,5^\circ\text{C})$$

$$P_{K2} = U_2 \cdot I_2 = (\alpha_G + k_v \sqrt{v}) \cdot A_0 \cdot (T_2 - T_U) \rightarrow k_v = \left(\frac{U_2 \cdot I_2}{A_0 \cdot (T_2 - T_U)} - \alpha_G \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{v_2}} = 16 \cdot 10^{-5} \frac{\text{W} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}}}{\text{K} \cdot \text{cm}^{\frac{5}{2}}}$$

$T_{max} = 389,4 \text{ K } (116,3^\circ\text{C})$ $\alpha_G = 1,95 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{K})$ $k_v = 16 \cdot 10^{-5} \frac{\text{W} \cdot \text{s}^{\frac{1}{2}}}{\text{K} \cdot \text{cm}^{\frac{5}{2}}}$	Punkte A1.c
---	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Rechenaufgabe A2: Kristallstrukturen, Thermodynamik und Defektchemie

Bild 1 zeigt Ihren Übungsleiter Herrn Niedrig vor dem Wahrzeichen Brüssels, dem sogenannten „Atomium“.

Dieses würfelförmige Bauwerk stellt die stark vergrößerte Elementarzelle von Eisen (bei Raumtemperatur) dar.

Die Raumdiagonale des „Atomium“-Würfels beträgt wie skizziert 81,9 m.

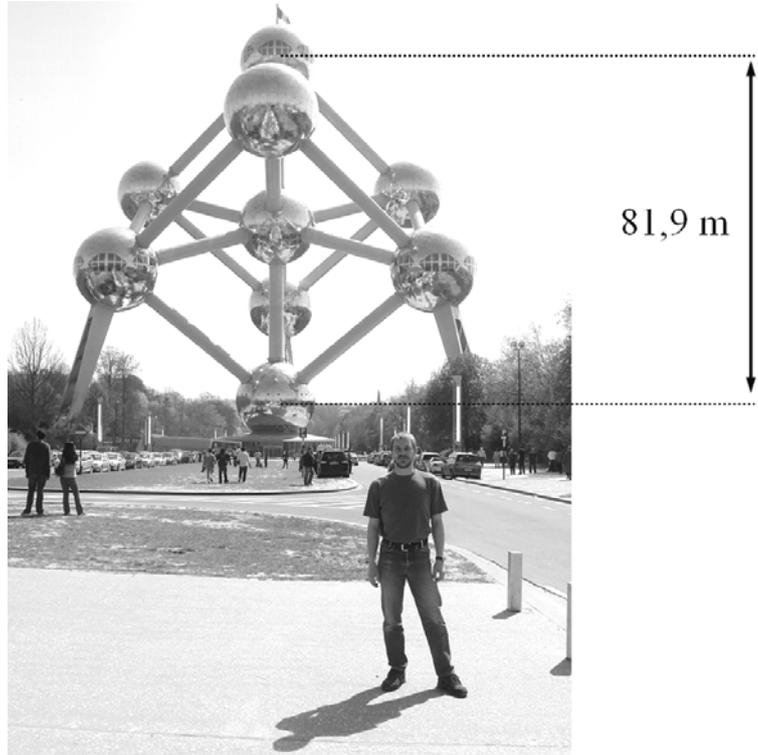


Bild 1

a) Benennen Sie die dargestellte Kristallstruktur und geben Sie Werte an für ihren Raumerfüllungsgrad sowie den Vergrößerungsfaktor γ zwischen einem mikroskopischen Eisenkristall und dem makroskopischen „Atomium“. (3 Punkte)

Hinweise: Die Gitterkonstante von Fe im Kristallverbund beträgt $a = 0,28665 \text{ nm}$. Für den Zusammenhang zwischen Gitterkonstante a und Atomdurchmesser d gilt näherungsweise: $a = \sqrt{\frac{4}{3}} \cdot d$.

Lösung:

Raumerfüllungsgrad:

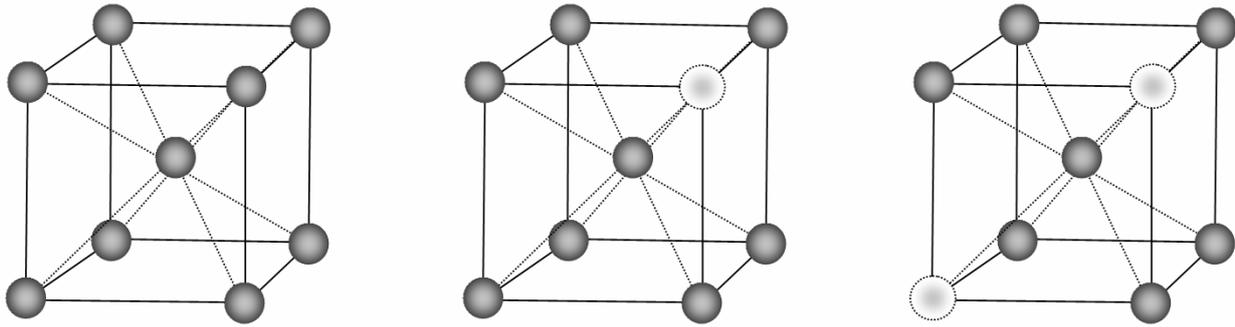
$$= \frac{\text{Volumen der Gitterbausteine}}{\text{Volumen der Elementarzelle}} = \frac{\left(1 + 8 \cdot \frac{1}{8}\right) \cdot \frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}{a^3} = \frac{2 \cdot \frac{4\pi}{3} \left(\frac{d}{2}\right)^3}{\left(\sqrt{\frac{4}{3}}d\right)^3} = \frac{\frac{\pi}{3}}{\left(\sqrt{\frac{4}{3}}\right)^3} = \frac{\pi \cdot 3^{\frac{3}{2}}}{24} = 0,68$$

Vergrößerungsfaktor:

$$\text{Würfeldiagonale "Atomium": } D = \gamma \cdot \sqrt{3} \cdot a \Rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot a} \cdot D = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 2,8665 \cdot 10^{-10} \text{ m}} \cdot 81,9 \text{ m} \approx 1,65 \cdot 10^{11}$$

<p><i>Kristallstruktur:</i> kubisch raumzentriert (krz, bcc)</p> <p><i>Raumerfüllungsgrad:</i> 68 %</p> <p><i>Vergrößerungsfaktor γ \approx 165 Milliarden</i></p>	<p>Punkte A2.a</p>
---	--------------------

b) In Bild 2 skizziert ist ein Ausschnitt des Kristallgitters in drei möglichen Zuständen A, B und C.



A

B

C

Bild 2

- Atom auf Gitterplatz
- Schottky-Leerstelle

Welcher der Zustände A, B, oder C ist bei der Temperatur $T_0 = 1000$ K der wahrscheinlichste? Berechnen Sie hierzu die Freie Energie $F = E - T \cdot S$ jedes Zustands (die Freie Energie des idealen Kristalls A wird als $F_A = 0$ angenommen). (3 Punkte)

Hinweise:

Nehmen Sie dabei an, dass alle N Kristallgitterplätze energetisch gleichwertig und alle gezeigten Leerstellen-Positionen ebenfalls energetisch gleichwertig sind.

Für die Erzeugung einer Schottky-Leerstelle muss jeweils der Energiebetrag E_0 aufgewendet werden.

Für die Entropie S gilt: $S = k \cdot \ln \Omega$. Ω ist dabei die Anzahl der Realisierungsmöglichkeiten, n Teilchen auf

$$N \text{ Plätze zu verteilen: } \Omega = \binom{N}{n} = \frac{N!}{(N-n)! \cdot n!}$$

Konstanten:

$$E_0 = 0,16 \text{ eV}$$

$$k = 8,617 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$$

Lösung:

$$\text{Zustand A: } F_A = 0$$

$$\text{Zustand B: } F_B = E_0 - T_0 \cdot k \ln \binom{9}{1} = E_0 - kT_0 \cdot \ln 9 = 0,16 \text{ eV} - 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} \cdot 1000 \text{ K} \cdot \ln 9 \approx -0,03 \text{ eV}$$

$$\text{Zustand C: } F_C = 2 \cdot E_0 - T_0 \cdot k \ln \binom{9}{2} \approx 2 \cdot E_0 - kT_0 \cdot \ln 36 \approx 2 \cdot 0,16 \text{ eV} - 8,62 \cdot 10^{-5} \frac{\text{eV}}{\text{K}} \cdot 1000 \text{ K} \cdot \ln 36 \approx +0,01 \text{ eV}$$

$F_A = 0 \text{ eV}$ $F_B = -0,03 \text{ eV}$ $F_C = +0,01 \text{ eV}$ ⇒ Der wahrscheinlichste Zustand ist: B , da $F_B < F_A < F_C$	Punkte A2.b (1 Punkt für richtige Lösung mit Einheit) (1 Punkt für richtige Lösung mit Einheit) (1 Punkt für richtigen Zustand)
--	--

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Bild 3 zeigt die Elementarzelle des ferroelektrischen Ionenkristalls Bariumtitanat (BaTiO_3) bei Raumtemperatur (20°C). In der gezeigten tetragonalen Phase hat das Titan-Ion zwei gleichberechtigte Positionen.

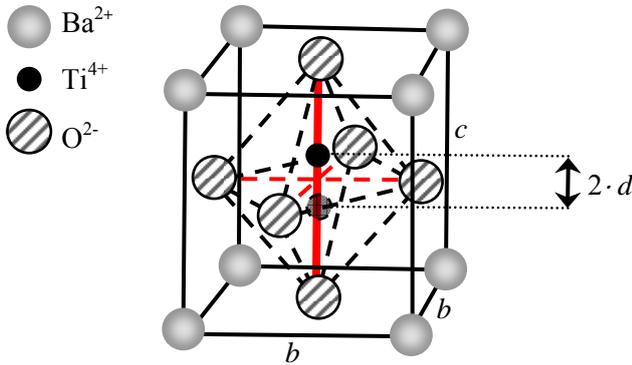


Bild 3

Spontane Polarisation:

$$P_S = p \cdot \frac{N}{V}$$

p : Dipolmoment
 N : Anzahl der Dipole
 V : Volumen

Gegebene Zahlenwerte:

Gitterkonstante $b = 0,3992 \text{ nm}$
Gitterkonstante $c = 0,4036 \text{ nm}$
Verschiebung $d = 11 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

c) Betrachtet wird im Folgenden eine ferroelektrische Domäne von BaTiO_3 . Schätzen Sie einen Wert für die spontane Polarisation P_S bei Raumtemperatur ab, indem Sie die Geometrie der Elementarzelle berücksichtigen und vereinfachend annehmen, dass die Asymmetrie in der Ladungsverteilung nur durch eine Verschiebung des Ti^{4+} -Ions um die Strecke d aus dem Zentrum heraus entsteht. **(2 Punkte)**

Lösung:

Dipolmoment: $p = z \cdot e_0 \cdot d$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{spontane Polarisation: } P_S &= p \cdot \frac{N}{V} = p \cdot \frac{N}{N \cdot V_{\text{Elementarzelle}}} = p \cdot \frac{1}{b^2 \cdot c} = \frac{z \cdot e_0 \cdot d}{b^2 \cdot c} \\ &= \frac{4 \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 11 \cdot 10^{-12} \text{ m}}{(3,992 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2 \cdot 4,036 \cdot 10^{-10} \text{ m}} \\ \Rightarrow P_S &\approx 0,11 \text{ As/m}^2 \end{aligned}$$

(1 Punkt für richtigen Ansatz)

$P_S = 0,11 \text{ As/m}^2$ <i>(1 Punkt für richtige Lösung)</i>	Punkte A2.c
--	-------------

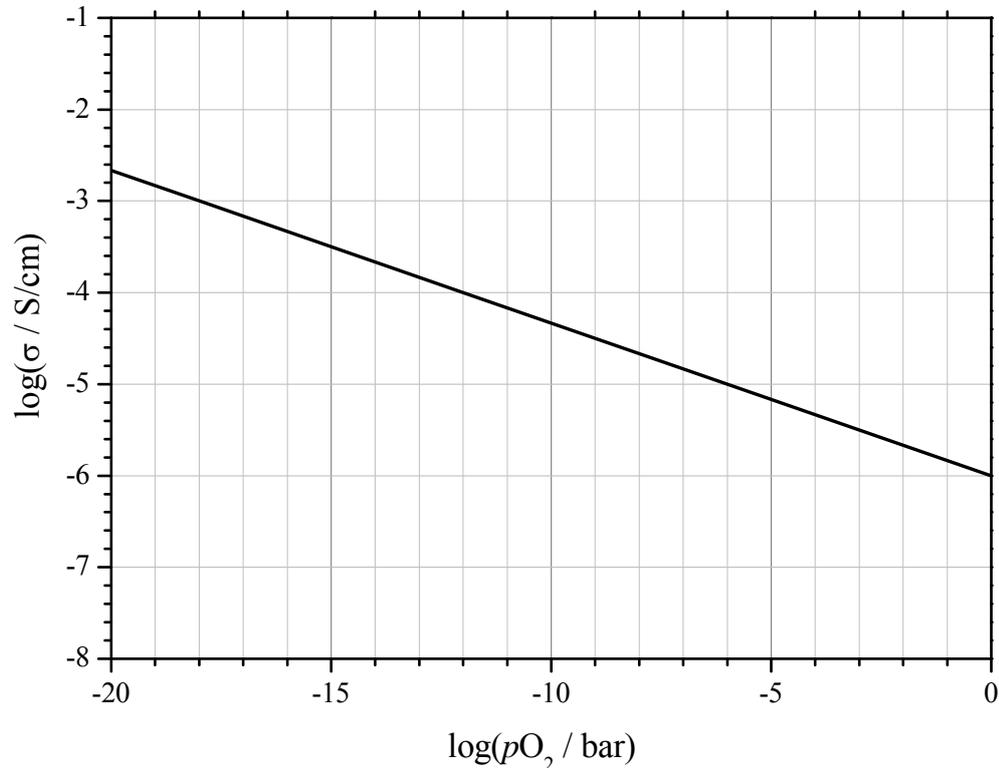
d) Im BaTiO_3 findet der Ladungstransport überwiegend durch Elektronen-Hopping statt. Es werde nun ein Teil der Barium-Ionen durch Lanthan ersetzt. Benennen Sie in der Notation nach Kröger-Vink die hierdurch entstehenden Punktdefekte im Kationengitter und diskutieren Sie kurz, welche Auswirkungen diese auf die elektrische Leitfähigkeit des BaTiO_3 haben. **(1 Punkte)**

Hinweis: Ziehen Sie das Periodensystem zu Rate.

Defektnotation: $\text{La}_{\text{Ba}}^\bullet$ <i>(1 Punkt für richtige Lösung mit Begründung)</i>	Punkte A2.d
Auswirkungen auf el. Leitfähigkeit: steigt, da La als Donator wirkt $\Rightarrow n$ nimmt zu	

Skizziert ist in Bild 4 die elektrische Leitfähigkeit σ von undotiertem BaTiO₃ bei der Temperatur $T_1 = 1000 \text{ °C}$ als Funktion des Sauerstoffpartialdruckes p_{O_2} der umgebenden Atmosphäre.

Bild 4



e) Um aus dem BaTiO₃ einen keramischen Kondensator herzustellen, wird das Material in einer Stickstoffatmosphäre mit einem Restsauerstoff von $p_{O_2} = 10^{-6} \text{ bar}$ bei $T_1 = 1000 \text{ °C}$ ausgelagert. Wie hoch ist die Sauerstoffleerstellenkonzentration $[V_{O^{\bullet\bullet}}]$ unter diesen Bedingungen? (1 Punkt)

Hinweise: Die Elektronenbeweglichkeit $\mu_n = 1 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ werde als konstant angenommen und μ_n ist wesentlich größer als $\mu_{V_{O^{\bullet\bullet}}}$. Alle Defekte sind bei den gegebenen Temperaturen als vollständig ionisiert zu betrachten. Gehen Sie von der Elektroneutralitätsbedingung ENB: $2[V_{O^{\bullet\bullet}}] = [e']$ aus.

Lösung:

$$\sigma = e_0 \mu_n n = e_0 \mu_n 2[V_{O^{\bullet\bullet}}]$$

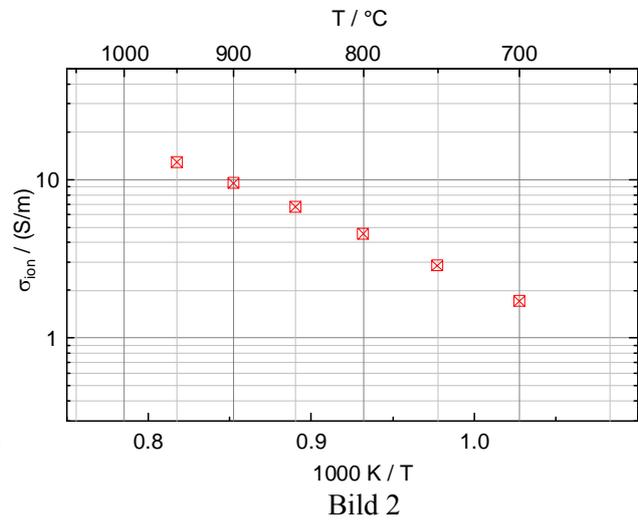
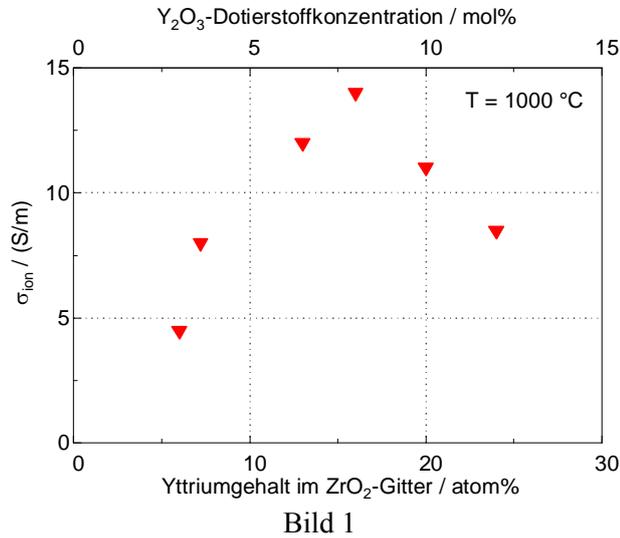
$$\Rightarrow [V_{O^{\bullet\bullet}}] = \frac{\sigma_{p_{O_2}=10^{-6} \text{ bar}}}{2e_0 \mu_n} \stackrel{\text{(s. Bild 4)}}{=} \frac{10^{-5} \text{ S/cm}}{2e_0 \cdot 1 \text{ cm}^2/\text{Vs}} = 3,12 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

$[V_{O^{\bullet\bullet}}] = 3,12 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3}$	<i>(1 Punkt für richtige Lösung mit Einheit)</i>	Punkte A2.e
---	--	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Rechenaufgabe A3: Ionische Leitung

Yttriumdotiertes Zirkondioxid (YSZ) soll als Elektrolytwerkstoff in einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle eingesetzt werden. In Bild 1 ist die ionische Leitfähigkeit von YSZ als Funktion der Dotierstoffkonzentration angegeben, Bild 2 zeigt die Temperaturabhängigkeit der ionischen Leitfähigkeit für eine optimale Dotierstoffkonzentration.



a) Welche Dotierstoffkonzentration würden Sie für die Anwendung von YSZ in der Brennstoffzelle wählen? Begründen Sie Ihre Antwort! (2 Punkte)

Lösung:
8 mol% Y₂O₃ / 16 atom% Y (1 Punkt)

Begründung: YSZ weist bei einer Dotierstoffkonzentration von 8 mol% Y₂O₃ die höchste Leitfähigkeit/ den geringsten Elektrolytwiderstand auf.

(1 Punkt)

	Punkte A3.a
--	-------------

b) Die Gleichung für die Temperaturabhängigkeit der ionischen Leitfähigkeit von YSZ lautet:

$$\sigma_{ion}(T) = \frac{A}{T} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT}\right)$$

Bestimmen Sie die in der Gleichung enthaltenen Parameter anhand der Daten in Bild 2. (Hinweis: $k = 8.617 \cdot 10^{-5}$ eV/K) (3 Punkte)

Lösung:

zu bestimmende Parameter: A , E_A

benötigt werden zwei Messpunkte (aus Diagramm ablesen):

$$T_1 = 950 \text{ }^\circ\text{C} = 1223,15 \text{ K}; \sigma_1 = 12,8 \text{ S/m}$$

$$T_2 = 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973,15 \text{ K}; \sigma_2 = 1,72 \text{ S/m}$$

$$\sigma_{ion}(T_1) = \frac{A}{T_1} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT_1}\right)$$

$$\sigma_{ion}(T_2) = \frac{A}{T_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT_2}\right)$$

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT_1}\right) = \frac{1}{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2} \cdot \exp\left(-\frac{E_A}{kT_2}\right)$$

$$\frac{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1} = \exp\left(-\frac{E_A}{kT_2} + \frac{E_A}{kT_1}\right) \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\ln\left(\frac{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1}\right) = -E_A \left(\frac{1}{kT_2} - \frac{1}{kT_1}\right)$$

$$E_A = \frac{-\ln\left(\frac{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1}\right)}{\frac{1}{kT_2} - \frac{1}{kT_1}} = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1}\right)}{\frac{1}{kT_2} - \frac{1}{kT_1}} = \frac{\ln\left(\frac{\sigma_{ion}(T_2) \cdot T_2}{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1}\right)}{\frac{1}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} =$$

$$= \frac{\ln\left(\frac{1,72 \text{ S/m} \cdot 973,15 \text{ K}}{12,8 \text{ S/m} \cdot 1223,15 \text{ K}}\right)}{\frac{1}{k} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)} = 0,917 \text{ eV}$$

$$A = \frac{\sigma_{ion}(T_1) \cdot T_1}{\exp\left(-\frac{E_A}{kT_1}\right)} = 9,43 \cdot 10^7 \frac{\text{S}}{\text{m}} \cdot \text{K}$$

$E_A = 917 \text{ meV}$ $A = 9,43 \cdot 10^7 \text{ S/m} \cdot \text{K}$ <i>(je 1 Punkt für richtige Lösung)</i>	Punkte A3.b
--	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

c) Für den Aufbau einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle muss der Elektrolyt beidseitig mit Elektroden (Kathode und Anode) beschichtet werden. Welcher Typ von Elektrode kommt dafür in Frage und welche 3 Eigenschaften müssen die Elektroden aufweisen? (2 Punkte)

Lösung:

Elektrodentyp: Gasdiffusionselektroden (1 Punkt)

Eigenschaften: 1. porös

2. katalytisch aktiv

3. elektronischer Leiter

4. Elektrode selbst ist nicht an der Ladungstransferreaktion beteiligt

5. Temperaturbeständigkeit

6. gute Haftung an Elektrolyt

(1 Punkt bei 3 richtigen Antworten, bei einer falschen Eigenschaft kein Punkt)

	Punkte A3.c
--	-------------

Die Hochtemperatur-Brennstoffzelle hat eine aktive, stromdurchflossene Fläche von $A = 100 \text{ cm}^2$ und wird bei einer Temperatur von 800 °C betrieben. Die Dicke des Elektrolyten mit der ionischen Leitfähigkeit aus Bild 2 beträgt $150 \text{ }\mu\text{m}$. Ihr elektrisches Verhalten sei durch das in Bild 3 dargestellte Gleichstromersatzschaltbild bestehend aus einer idealen Spannungsquelle ($U_L = 1,2 \text{ V}$), dem Elektrolytwiderstand $R_{\text{Elektrolyt}}$ und dem Polarisationswiderstand der Elektroden $R_{\text{Pol}} = 5 \text{ m}\Omega$ beschreibbar. Die von der Zelle erzeugte elektrische Leistung $U_{\text{Zelle}} \cdot I_{\text{Zelle}}$ wird in einem Verbraucher ($R_{\text{Verbraucher}}$) umgesetzt.

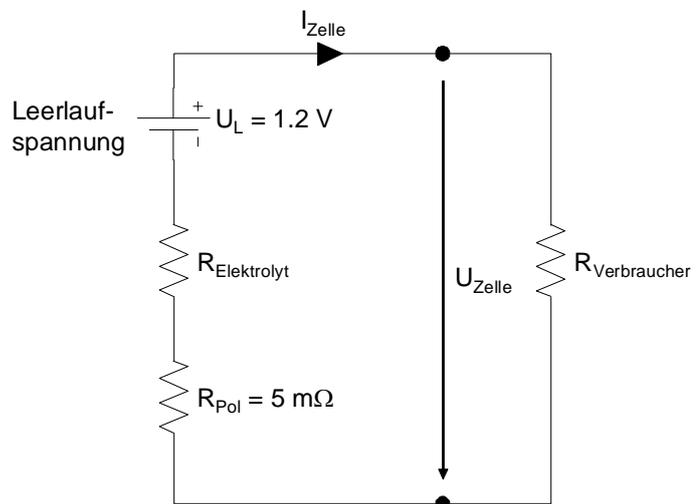
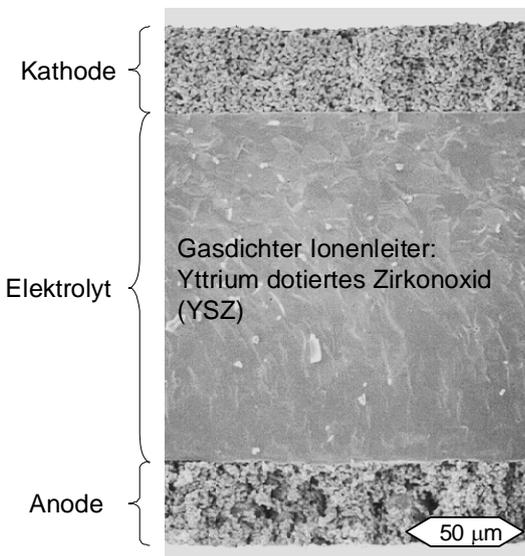


Bild 3

d) Welche Klemmenspannung U_{Zelle} stellt sich bei einem Strom $I_{\text{Zelle}} = 40 \text{ A}$ ein? (3 Punkte)

Lösung:

$$\sigma_{ion}(1073K) = 4,3 \text{ S/m (auch gültig: 4,5 S/m) (oder alternativ berechnen)} \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$\sigma_{ion}(1073K) = \frac{A}{1073K} \cdot \exp\left(-\frac{0,917eV}{k \cdot 1073K}\right) = 4,317 \frac{S}{m}$$

$$R_{Elektrolyt} = \frac{1}{\sigma_{ion}(1073K)} \cdot \frac{150\mu m}{100cm^2} = 3,475 m\Omega \quad (3,334 m\Omega, \text{ wenn mit 4,5 S/m gerechnet}) \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$U_{Zelle}(40A) = 1,2V - (R_{Elektrolyt} + R_{Pol}) \cdot 40A = 0,861V \quad (1 \text{ Punkt})$$

$U_{Zelle}(40A) = 0,861 \text{ V}$	Punkte A3.d
------------------------------------	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

		Erreichte Punkte
--	--	------------------

A large grid of dashed lines covering most of the page, intended for drawing or calculation.

Erreichte Punkte
